

**РЕКОМЕНДАЦИИ
ПО ВОЗДЕЛЫВАНИЮ ПРОСА
НА ПРОДОВОЛЬСТВЕННЫЕ ЦЕЛИ
НА ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫХ СУПЕСЧАНЫХ
ПОЧВАХ В УСЛОВИЯХ РАДИОАКТИВНОГО
ЗАГРЯЗНЕНИЯ**



НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК БЕЛАРУСИ
ДЕПАРТАМЕНТ ПО ЛИКВИДАЦИИ ПОСЛЕДСТВИЙ КАТАСТРОФЫ
НА ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ АЭС МИНИСТЕРСТВА ПО ЧРЕЗВЫЧАЙНЫМ
СИТУАЦИЯМ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

РУП «ИНСТИТУТ ПОЧВОВЕДЕНИЯ И АГРОХИМИИ»

**РЕКОМЕНДАЦИИ
ПО ВОЗДЕЛЫВАНИЮ ПРОСА
НА ПРОДОВОЛЬСТВЕННЫЕ ЦЕЛИ
НА ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫХ СУПЕСЧАНЫХ ПОЧВАХ
В УСЛОВИЯХ РАДИОАКТИВНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ**

Минск 2011

УДК 631.438:633.17:631.445.2

ББК 40.40

Р36

Рекомендации рассмотрены и утверждены Ученым советом РУП «Институт почвоведения и агрохимии» (протокол № 17 от 5 ноября 2010 г.); Ученым советом РНИУП «Институт радиологии» (протокол № 16 от 10 ноября 2010 г.)

Утверждены Научно-техническим советом Главного управления растениеводства Министерства сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь (протокол № 1 от 10 января 2011 г.); Научно-техническим советом Департамента по ликвидации последствий катастрофы на ЧАЭС Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь (протокол № 2 от 25 февраля 2011 г.)

Авторы:

И.М. Богдевич, Э.М. Батыршаев, М.М. Ломонос, И.И. Новикова, С.В. Шульга (РУП «Институт почвоведения и агрохимии»), А.М. Федосова (КСУП «Дубовый Лог»)

Рекомендации по возделыванию проса на продовольственные цели на дерново-подзолистых супесчаных почвах в условиях радиоактивного загрязнения / И.М. Богдевича [и др.]. – Минск: Ин-т почвоведения и агрохимии, 2011. – 32 с.

В рекомендациях изложены результаты экспериментальных исследований по возделыванию проса на продовольственные цели на дерново-подзолистых супесчаных почвах, загрязненных ^{137}Cs и ^{90}Sr , выполненных в рамках Государственной программы Республики Беларусь по преодолению последствий катастрофы на Чернобыльской АЭС на 2006–2010 годы по направлению: «Научное обеспечение реабилитации загрязненных радионуклидами территорий и защитных мероприятий в сельскохозяйственном производстве».

Рекомендации предназначены для руководителей и специалистов предприятий агропромышленного комплекса, преподавателей, аспирантов и студентов высших и средних учебных учреждений сельскохозяйственного профиля.

УДК 631.438:633.17:631.445.2

ББК 40.40

© РУП «Институт почвоведения и агрохимии», 2011

СОДЕРЖАНИЕ

ПЕРЕЧЕНЬ УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ, ЕДИНИЦ, ТЕРМИНОВ И СОКРАЩЕНИЙ.....	4
ВВЕДЕНИЕ.....	5
1. НАРОДНОХОЗЯЙСТВЕННОЕ ЗНАЧЕНИЕ И БИОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПРОСА.....	6
2. ПРОГНОЗ СОДЕРЖАНИЯ ^{137}Cs И ^{90}Sr В ЗЕРНЕ ПРОСА.....	9
2.1 ПРЕДЕЛЬНО ДОПУСТИМЫЕ УРОВНИ (ПДУ) ЗАГРЯЗНЕНИЯ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫХ СУПЕСЧАНЫХ ПОЧВ ^{137}Cs И ^{90}Sr ДЛЯ ВОЗДЕЛЫВАНИЯ ПРОСА НА ЗЕРНО	13
2.2 ЗАВИСИМОСТЬ УРОЖАЙНОСТИ ЗЕРНА ПРОСА ОТ АГРОХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫХ СУПЕСЧАНЫХ ПОЧВ.....	15
3. ВЛИЯНИЕ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ НА УРОЖАЙНОСТЬ И НАКОПЛЕНИЕ ^{137}Cs И ^{90}Sr ЗЕРНОМ ПРОСА.....	16
4. ВЛИЯНИЕ СОРТОВЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ ПРОСА НА УРОЖАЙНОСТЬ И НАКОПЛЕНИЕ ^{137}Cs И ^{90}Sr ЗЕРНОМ.....	20
5. ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ УДОБРЕНИЙ ПОД ПРОСО ПРИ ВОЗДЕЛЫВАНИИ ЕГО НА ПРОДОВОЛЬСТВЕННЫЕ ЦЕЛИ.....	22
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	23
ЛИТЕРАТУРА.....	24
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	27

ПЕРЕЧЕНЬ УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ, ЕДИНИЦ, ТЕРМИНОВ И СОКРАЩЕНИЙ

В рекомендациях приняты следующие термины и определения:

активность – мера радиоактивности какого-либо количества радионуклида, находящегося в данном энергетическом состоянии на определенный момент времени;

Беккерель (Бк) – единица активности, выраженная в виде одного ядерного превращения в секунду;

активность удельная (A_m) – отношение активности радионуклида в веществе к массе вещества (растение, почва и т.д.);

внутреннее облучение – облучение организма, его отдельных органов и тканей излучением, испускаемым содержащимися в них радионуклидами;

загрязнение радиоактивное – присутствие радиоактивных веществ на поверхности, внутри материала, в воздухе, в теле человека или в другом месте в количестве, превышающем уровни, принятые в установленном порядке;

контроль радиационный – получение информации о радиационной обстановке в организации, в окружающей среде и об уровнях облучения людей (включает в себя дозиметрический и радиометрический контроль);

Кюри (Ки) – внесистемная единица радиоактивности, соответствует $3,7 \times 10^{10}$ Бк в системе СИ;

коэффициенты перехода (K_p) – отношение удельной активности радионуклида в растительном образце к плотности загрязнения почв;

радионуклиды – радиоактивные атомы с данным массовым числом и атомным номером, а для изомерных атомов – и с данным определенным энергетическим состоянием атомного ядра;

стронций (Sr) – щелочноземельный металл второй группы периодической системы элементов; ^{90}Sr – радиоактивный изотоп стронция с периодом полураспада 29,1 года;

цезий (Cs) – щелочной металл первой группы периодической системы элементов; ^{137}Cs – радиоактивный изотоп цезия с периодом полураспада 30 лет;

контрмера (защитное мероприятие) – агрохимический или агротехнический прием, действие которого направлено на уменьшение накопления радионуклидов в конечной продукции.

ВВЕДЕНИЕ

В отдаленный период после аварии на Чернобыльской АЭС в условиях удорожания энергоносителей и средств химизации, дисбаланса элементов питания в почвах возникает необходимость в совершенствовании защитных мероприятий, позволяющих получать стабильные урожаи и оптимизировать затраты на проведение контрмер за счет учета особенностей поведения радионуклидов в системе «почва – растение».

Главной задачей ведения сельскохозяйственного производства на загрязненной территории является получение продукции с содержанием радионуклидов в пределах республиканских допустимых уровней и дальнейшее возможное снижение дозовой нагрузки на население.

В Республике Беларусь сельскохозяйственное производство разрешено на землях с плотностью загрязнения ^{137}Cs до 1480 кБк/м^2 (до 40 Ки/км^2) и ^{90}Sr до 111 кБк/м^2 (до 3 Ки/км^2). По результатам последнего тура агрохимического и радиологического обследования установлено [1], что 597 тыс. га пахотных почв загрязнено ^{137}Cs с плотностью свыше 1 Ки/км^2 . Значительная часть пашни (195 тыс. га) одновременно загрязнена и ^{90}Sr с плотностью $0,15\text{--}3,0 \text{ Ки/км}^2$. Основные массивы (95%) пахотных земель, загрязненных ^{90}Sr , находятся в Гомельской области. Производство нормативно чистой сельскохозяйственной продукции (соответствующей требованиям РДУ) без применения защитных мер на таких землях практически невозможно.

Климатические изменения последних лет обусловили расширение посевной площади проса в структуре посевов. Это связано с тем, что в республике, особенно в южных районах, практически через год наблюдается засуха различной интенсивности, а данная культура одна из самых засухоустойчивых и способна сформировать высокий урожай зерна, когда другие культуры в условиях недостатка влаги резко снижают свою урожайность [2, 3]. В 2010 г. в Беларуси под посевами проса на зерно было занято 13,5 тыс. га, в том числе в Гомельской области – 2,3 тыс. га. Средняя урожайность зерна проса в республике составила около 20 ц/га. Для полного удовлетворения собственных потребностей необходимо возделывать просо на площади 50–60 тыс. га, с тем чтобы ежегодно производить не менее 100 тыс. т зерна и на этот объем сократить импорт [4].

Проведение комплекса агрохимических и агротехнических защитных мероприятий (контрмер) способствует уменьшению перехода ^{137}Cs и ^{90}Sr из почвы в растения и одновременно позволяет повысить урожайность возделываемых культур и плодородие почв.

Результаты исследований РУП «Институт почвоведения и агрохимии» показывают, что просо – перспективная культура для возделывания на продовольственные цели на загрязненных ^{137}Cs и ^{90}Sr дерново-подзолистых супесчаных почвах.

В рекомендациях представлены параметры, необходимые для прогноза накопления ^{137}Cs в зерне различных сортов проса в зависимости от содержания подвижного калия (K_2O) в дерново-подзолистой супесчаной почве и ^{90}Sr в зависимости от степени кислотности почвы ($\text{pH}_{\text{КС}}$). Предложены агрохимические и агротехнические защитные меры, апробированные в полевых опытах Гомельского территориального отдела сельскохозяйственной радиологии РУП «Институт почвоведения и агрохимии» в рамках направления: «Научное обеспечение реабилитации загрязненных радионуклидами территорий и защитных мероприятий в сельскохозяйственном производстве» Государственной программы Республики Беларусь по преодолению последствий катастрофы на Чернобыльской АЭС.

1. НАРОДНОХОЗЯЙСТВЕННОЕ ЗНАЧЕНИЕ И БИОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПРОСА

Просо – ценная крупяная культура. Крупа проса по содержанию белка (12–14%) занимает одно из первых мест среди других крупяных культур, а по содержанию жира (3,5%) уступает только овсяной крупе. Отличается хорошими вкусовыми качествами, быстрой развариваемостью, богата зольными элементами, особенно фосфором и магнием, микроэлементами, важнейшими витаминами: тиамин (В₁), рибофлавином (В₂), никотиновой и фолиевой кислотами. По калорийности крупа проса приравнивается к рисовой и гречневой крупам (325 ккал в 100 г крупы). Привар крупы составляет 12–13%, что вдвое больше, чем у риса [5–7].

Зерно широко используется в свиноводстве и птицеводстве, при этом у кур повышается яйценоскость и прочность скорлупы яиц. Просяная солома по кормовой ценности приравнивается к луговому селу среднего качества: 1 кг эквивалентен 0,41 к. ед. [8, 9]. Зерно проса используют в винокуренном и крахмальном производствах, а также как добавку к солоду при приготовлении пива [5].

Наибольшие площади посевов проса сконцентрированы в Индии – 9 млн. га (урожайность 0,7 т/га); Нигерии – 6,2 млн. га (1,0 т/га); Судане – 2,4 млн. га (0,2 т/га), в Европе – в Чехии, Словакии, Испании, Сербии и Венгрии. В России основные районы производства проса – Самарская, Оренбургская, Тамбовская, Саратовская и Курская области. Площадь посева около 1 млн. га, средняя урожайность – 0,3 т/га. В Поволжье, Центрально-Черноземной зоне, на Северном Кавказе просо возделывают также на зеленый корм, сено, сенаж, силос [9].

По своим биологическим особенностям просо отличается от других зерновых культур. Просо обыкновенное (*Panicum miliaceum* L.) – однолетнее травянистое растение семейства Мятликовые (Poaceae Barnhart). Корневая система данной культуры мочковатая, проникает вглубь на 1 м и более. Образует куст из 3–7 стеблей (плодоносящих

обычно 3–4). Стебель (соломина) простой или ветвистый, слабо опушенный, высотой 45–150 см. Число междоузлий – от 2 до 10. Листья линейно-ланцетные, опушенные или голые, зеленые с различными оттенками, длина 18–65 см и ширина 1–4 см. Соцветие – метелка, на концах веточек которой сидят 2-цветковые колоски (плодоносит обычно только верхний цветок). Плод – округлая, овальная или удлинённая зерновка белой, кремовой, светло-желтой, коричневой (красной) и др. окраски. В нормально развитой метёлке 600–1200 зерен, масса 1000 семян составляет 4–9 г. В зависимости от сортовых особенностей и условий выращивания вегетационный период длится 60–120 суток [9–11]. Просо обыкновенное – самоопылитель, у которого может наблюдаться от одного до 10–20% перекрестного опыления. Цветение и оплодотворение продолжается в течение 12–18 дней. Семена проса начинают прорастать при посеве в хорошо прогретую и влажную почву на 5–10-й день [11].

Отношение к свету. Просо относится к группе культур короткого дня и является одним из наиболее светолюбивых растений среди зерновых культур. Наибольшее количество света ему необходимо в период налива до полной спелости [12]. Поэтому для более полной освещенности посевов проса рядки следует размещать с запада на восток. В таких рядках растения лучше развиваются, имеют более крупные и хорошо озерненные метелки.

Требования к температуре. Просо – теплолюбивая культура. За период вегетации необходимая сумма среднесуточных температур для проса составляет 2300 °С, однако потребность в сумме активных температур во многом зависит от сортовых особенностей. Для появления всходов средняя температура должна быть не ниже 10–12 °С. При понижении температуры воздуха до минус 2–3 °С всходы проса сильно повреждаются, а при заморозках минус 4–5 °С – погибают. Минимальная температура, при которой начинается цветение, 15–17 °С. В целом, наиболее благоприятной для роста и развития растений проса является температура 18–24 °С. Просо обладает высокой жароустойчивостью, особенно во второй половине вегетации [11].

Отношение к влаге. Просо – засухоустойчивое растение, оно лучше других культур переносит почвенную и воздушную засуху. Для его производства требуется в полтора раза меньше влаги, чем для кукурузы, втрое меньше, чем для клевера, и вдвое меньше, чем для других зерновых культур. Растения экономно используют влагу, а корневая система способна усваивать ее из почвы при содержании, близкому к «мертвому запасу». Хотя просо и засухоустойчивое растение, но оно отрицательно реагирует на недостаток влаги в начальный период роста и развития. Недостаток влаги в периоды «всходы – кущение», «кущение – выметывание» приводит к щуплости зерна и снижению урожайности [9, 13].

Требования к почве и элементам питания. Для возделывания проса в условиях Республики Беларусь наиболее пригодны дерново-подзолистые суглинистые и супесчаные на связных породах почвы, а также торфяные почвы низинного типа. Допустимо возделывание на дерново-подзолистых суглинистых и супесчаных почвах, подстилаемых песками. Просо не выносит очень кислых, заболоченных и тяжелых почв. Рекомендуемые агрохимические показатели почвенного плодородия: pH_{KCl} – 5,5–6,5, содержание гумуса – не менее 1,6%, подвижных соединений фосфора и калия – не менее 150 мг/кг почвы. Способность проса формировать урожайность зерна на уровне 40–50 ц/га даже на бедных почвах делает ее перспективной культурой в условиях дефицита средств интенсификации сельскохозяйственного производства [14, 15].

Просо – культура отзывчивая на удобрения [16, 35, 39]. При интенсивной технологии возделывания проса система удобрений должна предусматривать полную обеспеченность культуры элементами минерального питания для получения планируемого урожая, а также создание оптимальных условий для эффективного использования питательных веществ из почвы и удобрений. При разработке системы удобрения следует учитывать, что на формирование 1 ц зерна и соответствующее количество соломы просо использует 1,2–3,2 кг азота, 1,2–1,5 кг фосфора, 2,9–3,7 кг калия, 1,0–1,3 кг кальция [14, 17, 18]. Поступают питательные вещества в растения проса в течение всего периода вегетации.

Избыток азота нежелателен в первые дни жизни проростков и появления всходов; контакт первичных корешков с очагами азотных туков значительно угнетает их и нередко приводит к гибели [19]. Потребность в азотном питании резко возрастает у проса на 30-й день после появления всходов и продолжается около 15 дней. С начала фазы выхода в трубку до выметывания метелок повышенное обеспечение азотом в условиях достаточного увлажнения в этот период увеличивает урожайность зерна более чем в 2 раза [20, 21]. Избыток азота в последующий период приводит к негативным явлениям: усиливается развитие вегетативной массы, задерживается созревание зерна и снижается его урожайность [22]. Фосфорное питание необходимо для растений проса с первых дней развития проростков и до созревания. Особенно значительно возрастает потребность в фосфоре во второй половине вегетации, в период налива и формирования зерна [16]. Наибольшее содержание калия в растениях проса приходится на период кущения. При хорошей обеспеченности почвы калием применение калийных удобрений не повышает поступление его в растения [16, 23].

Важную роль в питании растений проса играют микроэлементы: бор, марганец, медь, цинк, молибден. Микроэлементы нужны живому организму в очень небольших количествах, но без них растения не могут нормально развиваться. Это связано с тем, что они входят в состав ферментов, витаминов, гормонов или влияют на их активность. Благо-

даря микроэлементам увеличивается содержание зеленых пигментов, улучшаются генеративное развитие, формирование соцветий, озерненность, что способствует увеличению урожайности зерна и улучшению его качества [5, 24, 25].

Наряду с засухоустойчивостью, достоинствами проса являются такие качества как мелкосемянность, скороспелость, широкая амплитуда сроков сева, длительность хранения семян, в силу чего оно является прекрасной страховой культурой в случае гибели посевов озимых или ранних яровых культур. Просо на зерно можно сеять от первой декады мая до середины июня, а на зеленую массу – до 2-й декады июля, в южных районах – до конца июля. Важно избежать преждевременного высева при холодной погоде и запоздалого посева в сухую почву. В первом случае всходы долго не появляются, а поле зарастает сорняками, во втором – всходы бывают неравномерными, изреженными, плохо укореняются. В результате урожайность резко снижается. Просо высевают сплошным рядовым или узкорядным способом серийными сеялками. При посеве на зерно на минеральных почвах при рядовом способе посева предпочтение необходимо отдавать норме высева 4–5 млн. всхожих зерен на гектар, что оставляет 35–40 кг в зависимости от массы 1000 семян, при широкорядном способе – 3 млн. всхожих зерен на гектар. Глубина заделки семян на суглинках составляет 4–5 см [15, 26].

Просо, в целом, менее требовательно к предшественникам. Лучшими из них являются: пропашные, зернобобовые, многолетние бобовые травы, капустные, однако и после зерновых (пшеницы, ржи, овса и др.) урожайность не снижается. Не следует размещать просо после многолетних злаковых трав и с осторожностью после кукурузы ввиду распространения общих вредителей [15, 26].

В «Рекомендациях по ведению агропромышленного производства в условиях радиоактивного загрязнения земель Республики Беларусь» [27] по величине накопления ^{137}Cs на единицу сухого вещества при одинаковой плотности загрязнения почв просо при возделывании на зерно представлено в следующем по убыванию порядке: люпин > горох > вика > рапс > овес > **просо** > ячмень > пшеница > озимая рожь.

2. ПРОГНОЗ СОДЕРЖАНИЯ ^{137}Cs И ^{90}Sr В ЗЕРНЕ ПРОСА

Для планирования мероприятий по уменьшению поступления ^{137}Cs и ^{90}Sr в организм человека используется прогноз радиоактивного загрязнения растениеводческой продукции на загрязнённых радионуклидами землях. По результатам обследования почв используется информация по плотности загрязнения ^{137}Cs и ^{90}Sr и агрохимическим показателям почв по каждому элементарному участку.

Для прогноза содержания радионуклидов в зерне проса и оценки ее в сопоставлении с «Республиканскими допустимыми уровнями

содержания радионуклидов ^{137}Cs и ^{90}Sr в сельскохозяйственном сырье и кормах» (приложение 1) необходимо располагать следующими данными:

- коэффициенты перехода (пропорциональности) – $K_p^{137}\text{Cs}$ и ^{90}Sr для зерна проса (табл. 1 и 2);
- вид продукции (продовольствие);
- по результатам почвенного, агрохимического и радиологического обследования сельскохозяйственных земель хозяйства, представленным в агрохимических паспортах хозяйств и на картограммах областных проектно-изыскательских станций химизации:
 - тип почвы;
 - плотность загрязнения почвы ^{137}Cs и ^{90}Sr ;
 - содержание подвижных форм K_2O ;
 - степень кислотности почвы pH_{KCl} .

Расчет уровня загрязнения продукции производится по формуле:

$$\text{УА} = K_p \times \Pi \times 37, (1), \text{ где}$$

УА – удельная активность зерна, Бк/кг;

K_p – коэффициент перехода (Бк/кг : кБк/м^2) ^{137}Cs в зависимости от обеспеченности почв калием или ^{90}Sr – от реакции почвы (см. табл. 1 и 2);

Π – плотность загрязнения почв, Ки/км².

Таблица 1

Коэффициенты перехода ^{137}Cs для зерна проса в зависимости от содержания подвижного калия в дерново-подзолистых супесчаных почвах

Продукция	Содержание K_2O , мг/кг почвы				
	<80	81–140	141–200	201–300	>300
Зерно (влажность 14%)	0,14	0,11	0,07	0,05	0,03

Таблица 2

Коэффициенты перехода ^{90}Sr в зерно проса в зависимости от реакции дерново-подзолистых супесчаных почв

Продукция	pH_{KCl}				
	4,51-5,00	5,01-5,50	5,51-6,00	6,01-6,50	6,51-7,50
Зерно (влажность 14%)	0,83	0,61	0,44	0,33	0,28

Пример расчета:

Определить удельную активность зерна проса по ^{137}Cs при возделывании на дерново-подзолистой супесчаной почве с плотностью загрязнения ^{137}Cs – 925 Бк/м^2 (25 Ки/км^2) и содержанием подвижного калия – 230 мг/кг почвы.

В табл. 1 находим значение K_p ^{137}Cs для зерна при обеспеченности почвы подвижным калием $201\text{--}300 \text{ мг/кг}$ почвы, который равен $0,05$. Прогнозируемая удельная активность зерна составит:

$$0,05 \times 25 \times 37 = 46 \text{ Бк/кг.}$$

Такое зерно пригодно для продовольственных целей (норматив – менее 90 Бк/кг) и для переработки на детское питание (менее 55 Бк/кг) (приложение 1).

Аналогичным образом производятся расчеты для прогноза содержания ^{90}Sr , при этом учитывается степень кислотности почвы (табл. 2).

Из всех физико-химических характеристик, оказывающих влияние на подвижность и доступность ^{137}Cs и ^{90}Sr , исследователями выделено около десяти основных, которые по возрастающей значимости можно расположить в следующий ряд: влажность, соотношение форм нахождения радионуклидов, гранулометрический состав, минералогический состав, содержание органического вещества, содержание подвижного K_2O , обменных CaO и MgO , емкость катионного обмена, величина обменной кислотности pH_{KCl} . Определение влияния отдельных почвенно-климатических факторов и агрохимических свойств на поступление радионуклидов в сельскохозяйственные культуры является сложной задачей, поскольку большинство из них тесно взаимосвязаны между собой, и изменение одного из них приводит к изменению всего комплекса показателей в целом [27–31].

В нормативных документах, действующих на территории Беларуси, России и Украины, в условиях производства для прогноза содержания ^{137}Cs и ^{90}Sr в сельскохозяйственных культурах и кормах на всех типах почв используются два агрохимических показателя: содержание подвижного калия для прогноза ^{137}Cs и величина обменной кислотности pH_{KCl} для прогноза ^{90}Sr [27, 28, 31].

На основании данных полевых опытов и исследований производственных посевов установлены корреляционные связи между величиной коэффициентов перехода ^{137}Cs и ^{90}Sr для зерна проса и основными агрохимическими свойствами дерново-подзолистых супесчаных почв. В производственных посевах на дерново-подзолистых супесчаных почвах с различным содержанием подвижных форм калия и различной степенью кислотности (pH_{KCl}) наиболее загрязненных участков в Брагинском, Хойникском и Добрушском

районах Гомельской области в 2008–2010 гг. проведён отбор сопряженных проб почвы и растений проса со 100 учетных площадок.

Плотность загрязнения почвы обследованных производственных посевов под просом составила для ^{137}Cs от 11 до 527 кБк/м² (0,3–14,2 Ки/км²) и для ^{90}Sr – от 5,7 до 74,7 кБк/м² (0,15–2,02 Ки/км²). Удельная активность зерна проса варьировала в широких пределах за годы исследований. Содержание ^{137}Cs различалось от 2 до 39 Бк/кг, содержание ^{90}Sr – от 1 до 13 Бк/кг. По результатам исследований установлены дифференцированные коэффициенты перехода ^{137}Cs и ^{90}Sr для зерна проса (табл. 1 и 2).

Просо характеризуется сравнительно невысоким накоплением ^{137}Cs зерном. Коэффициенты перехода ^{137}Cs для зерна проса существенно снижаются (до 4 раз) по мере повышения содержания подвижного калия в дерново-подзолистых супесчаных почвах в диапазоне от менее 80 до 300 мг К₂О на кг почвы (рис. 1).

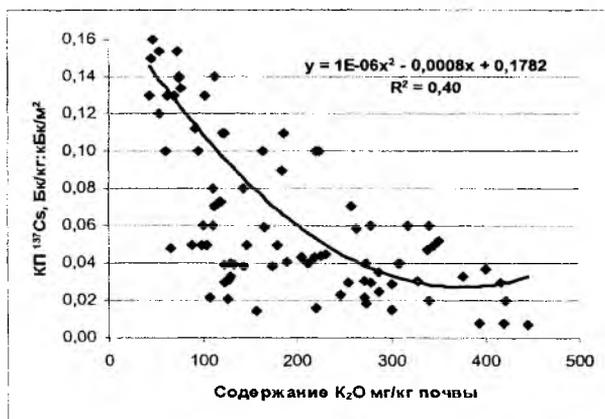


Рис. 1. Зависимость перехода ^{137}Cs в зерно проса от содержания подвижного калия в дерново-подзолистой супесчаной почве

При избыточном содержании К₂О (более 400 мг/кг почвы) наблюдается повышение перехода ^{137}Cs в зерно проса.

При равной плотности загрязнения почвы просо накапливает ^{90}Sr в зерне на порядок больше, чем ^{137}Cs . Известно, что переход ^{90}Sr в сельскохозяйственные растения снижается по мере насыщения поглощающего комплекса почвы кальцием и смещения реакции от кислой до нейтральной. Это можно видеть и на примере проведенных исследований 2008–2010 гг. на производственных посевах проса (рис. 2).

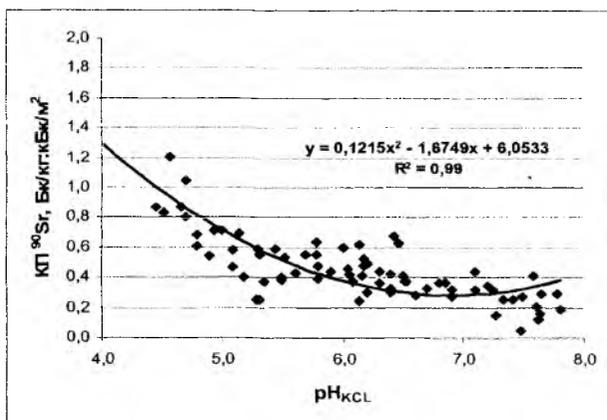


Рис. 2. Зависимость перехода ^{90}Sr в зерно проса от степени кислотности дерново-подзолистой супесчаной почвы

При нейтрализации кислотности супесчаной почвы от pH 4,5 до 7,0 переход ^{90}Sr в зерно проса снижается втрое. Для удобства прогноза в табл. 2 приведены средние коэффициенты перехода ^{90}Sr в зерно проса по группам кислотности супесчаных почв.

При необходимости ориентировочного прогноза накопления ^{90}Sr зерном проса, возделываемого на суглинистых почвах, необходимо использовать понижающий коэффициент к параметрам табл. 2 и умножить их на 0,7. Для проса, возделываемого на песчаных почвах, наоборот, коэффициенты перехода указанные в табл. 2 увеличиваются в 1,3 раза.

2.1. ПРЕДЕЛЬНО ДОПУСТИМЫЕ УРОВНИ (ПДУ) ЗАГРЯЗНЕНИЯ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫХ СУПЕСЧАНЫХ ПОЧВ ^{137}Cs И ^{90}Sr ДЛЯ ВОЗДЕЛЫВАНИЯ ПРОСА НА ЗЕРНО

Для ограничения поступления радионуклидов в организм человека в республике разработаны «Республиканские допустимые уровни содержания радионуклидов цезия-137 и стронция-90 в сельскохозяйственном сырье и кормах (РДУ)» (приложение 1).

В соответствии с законом Республики Беларусь «О правовом режиме территорий, подвергшихся радиоактивному загрязнению в результате катастрофы на Чернобыльской АЭС» сельскохозяйственное производство разрешено при плотности загрязнения почв ^{137}Cs до 1480 кБк/м^2 (40 Ки/км^2) и ^{90}Sr до 111 кБк/м^2 (3 Ки/км^2) [27].

Для того, чтобы определить предельно допустимые уровни (ПДУ) загрязнения почвы радионуклидами, при которых удельная активность полученной продукции будет соответствовать РДУ для использования

на заданные цели, необходимо разделить нормативную предельно допустимую величину загрязнения зерна из приложения 1 на коэффициент перехода ^{137}Cs или ^{90}Sr из табл. 1 и 2.

Для производства продовольственного зерна проса с допустимым содержанием ^{137}Cs менее 90 Бк/кг имеются ограничения по плотности загрязнения дерново-подзолистой супесчаной почвы: 1286 кБк/м² (34,8 Ки/км²) при среднем содержании подвижного калия, 818 кБк/м² (22,1 Ки/км²) при низком и 643 кБк/м² (17,4 Ки/км²) при очень низком содержании подвижного К₂O (табл. 3). При высоком (200 мг К₂O на кг почвы и более) содержании подвижного калия в дерново-подзолистой супесчаной почве возделывание проса на продовольственные цели не ограничивается высокой плотностью загрязнения ^{137}Cs .

Таблица 3

ПДУ загрязнения дерново-подзолистых супесчаных почв ^{137}Cs для получения зерна проса, соответствующего требованиям РДУ

Продукция	^{137}Cs , кБк/м ² (Ки/км ²) при содержании К ₂ O мг/кг почвы				
	<80	81-140	141-200	201-300	>300
Продовольственное зерно, содержание ^{137}Cs < 90 Бк/кг	643 (17,4)	818 (22,1)	1286 (34,8)	<1480 (<40,0)	<1480 (<40,0)

Ограничения по плотности загрязнения почв ^{90}Sr при подборе пригодных участков для получения продовольственного зерна проса существенно зависят от степени кислотности почв (табл. 4).

Например, на среднекислой супесчаной почве (рН_{ксл}<5,0) продовольственное зерно проса можно получить только при плотности загрязнения ^{90}Sr менее 0,36 Ки/км². Даже на почвах с нейтральной реакцией (рН_{ксл} 6,51-7,00) плотность загрязнения ^{90}Sr должна быть менее 1,06 Ки/км², чтобы вырастить продовольственное зерно.

Таблица 4

ПДУ загрязнения дерново-подзолистых супесчаных почв ^{90}Sr для получения зерна проса, соответствующего требованиям РДУ

Продукция	^{90}Sr , кБк/м ² (Ки/км ²) при степени кислотности рН _{ксл}				
	4,51-5,00	5,01-5,50	5,51-6,00	6,01-6,50	6,51-7,50
Продовольственное зерно, содержание ^{90}Sr < 11 Бк/кг	13,3 (0,36)	18,0 (0,49)	25,0 (0,68)	33,3 (0,90)	39,3 (1,06)

2.2. ЗАВИСИМОСТЬ УРОЖАЙНОСТИ ЗЕРНА ПРОСА ОТ АГРОХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫХ СУПЕСЧАНЫХ ПОЧВ

Урожайность зерна проса зависит от множества факторов: метеорологических условий, уровня плодородия почв, системы применения удобрений, комплекса защиты растений от сорняков, болезней и вредителей, уровня материально-технического обеспечения хозяйства и организации труда.

Агрохимические свойства почв не только определяют переход радионуклидов в растения и накопление их в продукции, но и в значительной мере влияют на величину урожайности. Результаты исследований показали, что урожайность зерна проса в обследованных производственных посевах варьировала в широких пределах: от 5,2 до 44,1 ц/га.

Из приведенных агрохимических свойств почв (содержание подвижных форм K_2O , содержание гумуса, величина обменной кислотности pH_{KCl}) обеспеченность подвижным калием наиболее тесно коррелирует с урожайностью зерна проса (рис.3). Максимальная урожайность зерна проса была получена при содержании подвижного калия в почве от 200 до 300 мг/кг. При содержании K_2O свыше 400 мг/кг почвы отмечена тенденция к снижению урожайности зерна. Это говорит о необходимости усиления контроля за соблюдением рекомендованных доз калийных удобрений и предотвращения неэффективного их использования.

Просо отзывчиво на обеспеченность почв органическим веществом (рис. 3) и хорошо использует последствие навоза. Навоз лучше вносить под предшествующую культуру в дозе не менее 40 т/га. При возделывании проса на дерново-подзолистых супесчаных почвах наиболее высокая урожайность зерна отмечена при содержании гумуса 2-3% и pH_{KCl} 6,0–7,0.

Для гарантии получения свыше 40 ц зерна с гектара просо следует размещать на хорошо окультуренных дерново-подзолистых связных и рыхлосупесчаных на связных породах почвах с содержанием гумуса >1,5%, подвижных форм K_2O более 200 мг/кг, близкой к нейтральной реакцией (pH_{KCl} 6,0–7,0). При этом особо важная роль отводится системе удобрения, обеспечивающей как формирование высокой урожайности проса, так и улучшение агрохимических показателей плодородия почв.

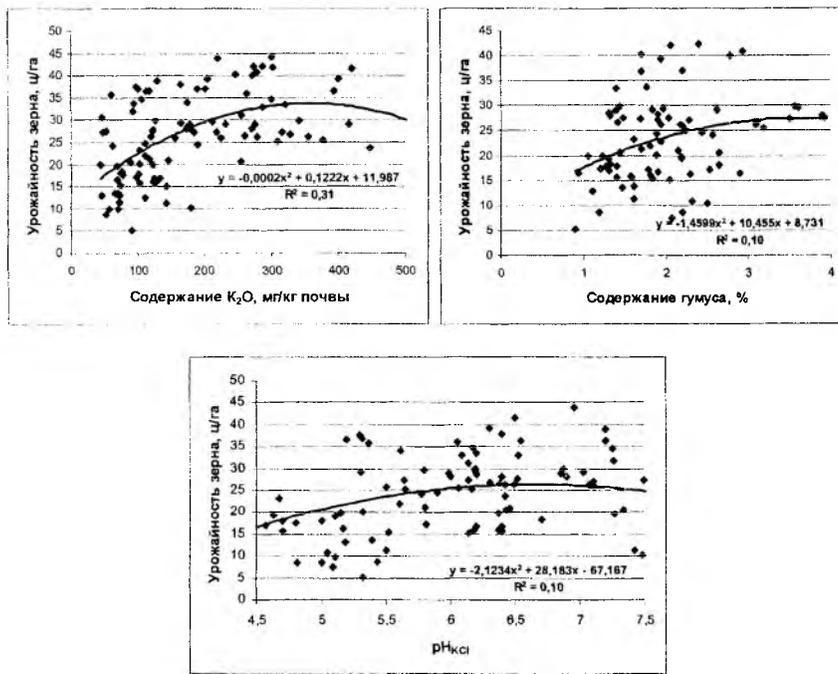


Рис. 3. Зависимость урожайности зерна проса от агрохимических свойств дерново-подзолистых супесчаных почв (при $n = 100$ и $p = 0,01$ критическое значение $R^2 = 0,07$)

3. ВЛИЯНИЕ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ НА УРОЖАЙНОСТЬ И НАКОПЛЕНИЕ ^{137}Cs И ^{90}Sr ЗЕРНОМ ПРОСА

В настоящее время в Беларуси имеется научно-методическая литература по интенсивной технологии возделывания проса на зерно [5, 14, 15, 32, 33]. В целом технология возделывания проса на зерно, применяемая в республике, полностью пригодна и на загрязнённых радионуклидами землях.

Практика возделывания проса в Беларуси показывает, что в условиях дерново-подзолистых почв удобрения являются одним из важнейших факторов получения высокой урожайности зерна данной культуры. У проса, также как и у других зерновых культур, важную роль в формировании урожайности играют азотные удобрения [34, 35]. Внес-

ние азотных удобрений обеспечивает повышение урожайности зерновых культур на 20–40% и более [36, 37]. Так, на дерново-подзолистой супесчаной почве возрастающие дозы азотных удобрений положительно сказались на повышении урожайности зерна проса сорта Галинка по сравнению с вариантом без внесения азота. Азотные удобрения обеспечили увеличение урожайности зерна на 33,5–53,7%. Максимальные параметры продуктивности были отмечены в варианте с применением 120 кг/га д.в. азота в два приема [38]. В исследованиях В.В. Лапа, М.М. Ломоноса установлено, что при возделывании проса на дерново-подзолистой рыхлосупесчаной почве оптимальной системой удобрения является внесение под предпосевную культивацию $N_{90}P_{40}K_{90}$ и некорневая обработка микроэлементами (Cu + Mn) в фазу кущения в дозе по 25 г/га д.в., которые обеспечивали формирование 46,3 ц/га зерна проса [39].

Следует отметить, что в комплексе радиозокологических контрмер регулированию азотного питания растений отводится важная роль. При недостатке доступного азота в почве сильно снижается урожайность и качество продукции, при этом концентрация радионуклидов в продукции повышается. С другой стороны, установлена отрицательная роль внесения повышенных доз азотных удобрений в почву, вызывающего усиление накопления радионуклидов в растениях. Существенное влияние на процесс поступления радионуклидов в растения оказывает вид азотного удобрения.

Для снижения удельной активности зерна проса по ^{137}Cs и ^{90}Sr рассмотрим некоторые особенности в применении азотных удобрений.

Влияние видов и доз азотных удобрений на урожайность зерна проса и накопление в нем ^{137}Cs и ^{90}Sr исследовали в 2009–2010 гг. в полевых опытах в КСУП «Дубовый Лог» Добрушского района Гомельской области на дерново-подзолистой среднеоккультуренной супесчаной, подстилаемой мореным суглинком с глубины до 1 м почве. Агрохимические показатели пахотного горизонта следующие: содержание гумуса – 1,9%; величина обменной кислотности pH_{KCl} – 5,67; подвижный P_2O_5 по Кирсанову – 248 мг/кг; подвижный K_2O по Кирсанову – 124 мг/кг; обменные CaO и MgO – 985 и 247 мг/кг соответственно.

Плотность загрязнения почвы: ^{137}Cs – 590–640 кБк/м² (15,9–17,3 Ки/км²) и ^{90}Sr – 10,8 кБк/м² (0,29 Ки/км²).

Фосфорное удобрение было внесено в форме аммонизированного суперфосфата, калийное – в виде гранулированного хлористого калия.

На основании результатов исследований установлено, что применение минеральных удобрений в дозах $N_{60-120}P_{60}K_{120}$ на дерново-подзолистой среднеоккультуренной супесчаной почве повышает урожайность зерна проса по сравнению с контролем на 41,8–80,8% (10,0–19,3 ц/га) (табл. 5).

**Влияние видов и доз азотных удобрений
на урожайность зерна проса (среднее за 2009–2010 гг.)**

№ п/п	Варианты		Урожайность, ц/га	Прибавка от удобрений, ц/га	Окупаемость 1 кг NPK, кг зерна
	дозы азота	вид удобрения			
1	Без удобрений	-	23,9	-	-
2	N ₆₀ P ₆₀ K ₁₂₀	карбамид	33,9	10,0	4,2
3	N ₉₀ P ₆₀ K ₁₂₀		38,9	15,0	5,6
4	N ₁₂₀ P ₆₀ K ₁₂₀		40,3	16,4	5,5
5	N ₆₀ P ₆₀ K ₁₂₀	карбамид с гуматсодержащими добавками	36,4	12,5	5,2
6	N ₉₀ P ₆₀ K ₁₂₀		41,1	17,2	6,4
7	N ₁₂₀ P ₆₀ K ₁₂₀		43,2	19,3	6,4
8	N ₆₀ P ₆₀ K ₁₂₀	КАС-30	34,9	11,0	4,6
9	N ₉₀ P ₆₀ K ₁₂₀		38,2	14,3	5,3
10	N ₁₂₀ P ₆₀ K ₁₂₀		37,4	13,5	4,5
HCP _{0,05}			2,7		

Внесение в предпосевную культивацию повышенных доз азота N₉₀₋₁₂₀ в виде карбамида способствует повышению урожайности зерна по сравнению с N₆₀ на фоне P₆₀K₁₂₀ на 5,0–6,4 ц/га. Использование карбамида с гуматсодержащими добавками или КАС-30 в дозе N₉₀ по сравнению с дозой N₆₀ при недостаточном содержании гумуса обеспечивает увеличение урожайности зерна проса на 4,7 и 3,3 ц/га соответственно. При возделывании проса на дерново-подзолистой среднекультуренной супесчаной почве применение различных видов азотных удобрений в дозе N₁₂₀ на фоне P₆₀K₁₂₀ по сравнению с N₉₀ не способствовало повышению урожайности зерна.

Максимальная урожайность зерна проса (43,2 ц/га) была отмечена в варианте N₁₂₀P₆₀K₁₂₀, где применялся карбамид с гуматсодержащими добавками, при окупаемости 1 кг NPK 6,4 кг зерна.

В варианте без применения удобрений отмечены самые высокие по опыту значения удельной активности (A_{уд}¹³⁷Cs = 37,7 Бк/кг, A_{уд}⁹⁰Sr = 10,4 Бк/кг) зерна проса и Kп¹³⁷Cs и ⁹⁰Sr 0,06 и 0,97 соответственно (табл. 6).

В среднем, за годы исследований применение минеральных удобрений на дерново-подзолистой средне окультуренной супесчаной почве в дозах N₆₀₋₁₂₀P₆₀K₁₂₀ позволило снизить поступление ¹³⁷Cs в зерно проса на 17–50%, ⁹⁰Sr – на 21–46%.

Таблица 6

**Влияние видов и доз азотных удобрений
на накопление ^{137}Cs и ^{90}Sr зерном проса (среднее за 2009–2010 гг.)**

№ п/п	Варианты		$A_{\text{уд}}$, Бк/кг		$K_{\text{п}}$, $10^{-3} \text{ м}^2 \text{ кг}^{-1}$	
	дозы азота	вид удобрения	^{137}Cs	^{90}Sr	^{137}Cs	^{90}Sr
1	Без удоб- рений	-	37,7±10,1	10,4±3,3	0,06	0,97
2	$N_{60}P_{60}K_{120}$	карбамид	26,7±8,6	7,4±2,7	0,04	0,69
3	$N_{90}P_{60}K_{120}$		21,4±8,3	6,6±2,9	0,04	0,61
4	$N_{120}P_{60}K_{120}$		26,6±7,0	7,9±4,1	0,05	0,73
5	$N_{60}P_{60}K_{120}$	карбамид с гуматсо- держащими добавками	21,2±8,9	5,9±2,1	0,04	0,54
6	$N_{90}P_{60}K_{120}$		16,7±7,4	5,7±3,0	0,03	0,52
7	$N_{120}P_{60}K_{120}$		18,8±6,3	6,9±3,1	0,03	0,64
8	$N_{60}P_{60}K_{120}$	КАС-30	25,4±12,0	7,8±3,1	0,05	0,72
9	$N_{90}P_{60}K_{120}$		24,4±11,7	6,7±3,3	0,04	0,62
10	$N_{120}P_{60}K_{120}$		30,9±11,7	8,4±3,0	0,05	0,77

Внесение повышенных доз азота (N_{120}), по сравнению с дозой N_{90} , независимо от вида применяемых в опыте азотных удобрений, способствовало накоплению ^{137}Cs и ^{90}Sr зерном проса.

На дерново-подзолистой супесчаной почве с недостаточным содержанием гумуса внесение $N_{90}P_{60}K_{120}$ при использовании карбамида, карбамида с гуматсодержащими добавками или КАС-30 по сравнению с дозами N_{60} , 120 снижает поступление ^{137}Cs ($K_{\text{п}} = 0,03-0,04$) и ^{90}Sr ($K_{\text{п}} = 0,52-0,62$).

Вариант $N_{90}P_{60}K_{120}$ с использованием карбамида с гуматсодержащими добавками отличался минимальными $K_{\text{п}}$ ^{137}Cs и ^{90}Sr для зерна проса – 0,03 и 0,52 соответственно.

Таким образом, при возделывании проса на дерново-подзолистой супесчаной почве применение сбалансированных доз минеральных удобрений позволяет получить более высокую урожайность зерна и вдвое снизить накопление ^{137}Cs и ^{90}Sr . На загрязненных радионуклидами землях рекомендуется использовать карбамид с гуматсодержащими добавками вместо стандартного карбамида, что позволяет на 15–20% снизить поступление радионуклидов в зерно проса.

4. ВЛИЯНИЕ СОРТОВЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ ПРОСА НА УРОЖАЙНОСТЬ И НАКОПЛЕНИЕ ^{137}Cs И ^{90}Sr ЗЕРНОМ

Одним из приемов, способствующим снижению концентрации радионуклидов в сельскохозяйственных растениях, является подбор культур и сортов, которые в однородных условиях в силу своих биологических особенностей способны в меньших количествах накапливать радионуклиды [27, 40, 41].

Исследования видовых и сортовых особенностей сельскохозяйственных культур показали, что накопление ^{137}Cs основными сельскохозяйственными культурами различается до 100 и более раз, а накопление ^{90}Sr – до 30 раз при равной плотности загрязнения почв. Сортовые различия зерновых культур по накоплению радионуклидов не превышают 1,5–3,0 раза [40].

Несмотря на то, что межсортовые различия в накоплении радионуклидов значительно меньше, чем межвидовые, их также необходимо учитывать при подборе культур для возделывания на загрязненной почве. Возделывание сортов сельскохозяйственных культур с минимальной способностью накапливать радионуклиды позволяет без дополнительных затрат сокращать потоки радионуклидов по пищевым цепям [42]. Просо в этом плане остается малоизученной культурой.

По состоянию на 2010 г. в «Государственный реестр сортов и древесно-кустарниковых пород» Республики Беларусь включено 10 среднеспелых сортов проса: Быстрое (стандарт), Надежное, Вольное, Галинка, Белорусское, Славянское, Мирское, Свiцязянскае, Днепровское и Гомельское.

Изучение накопления ^{137}Cs и ^{90}Sr зерном различных сортов проса проводили в 2008–2010 гг. в полевых опытах на территории КСУП «Дубовый Лог» Добрушского района Гомельской области. Почва экспериментального участка – дерново-подзолистая супесчаная, подстилаемая мореным суглинком с глубины до 1 м. Агрохимическая и радиологическая характеристики опытного участка указаны выше, при описании опыта с удобрениями. Сорта проса Быстрое, Надежное, Галинка, Славянское, Днепровское и Гомельское, допущенные к использованию в производстве на территории Беларуси, высевались в соответствии с требованиями отраслевого регламента на фоне минеральных удобрений в дозе $\text{N}_{90}\text{P}_{90}\text{K}_{120}$ [32].

Урожайность зерна проса сортов Быстрое, который принят за стандарт в ГСИ РБ, и Галинка в среднем за годы исследований составила 32,6 ц/га (табл. 7). По данному показателю сорт Славянское уступал стандарту на 2,6 ц/га. При возделывании на дерново-подзолистой супесчаной почве сортов Надежное, Днепровское и Гомельское было получено на 4,4–5,2 ц/га зерна больше по сравнению с сортом проса Быстрое. Сортовые отличия по накоплению ^{137}Cs и ^{90}Sr зерном проса представлены в табл. 7.

Таблица 7

**Урожайность зерна сортов проса и коэффициенты
перехода ^{137}Cs и ^{90}Sr из дерново-подзолистой супесчаной почвы
(среднее, 2008–2010 гг.)**

№ п/п	Сорта проса	Урожайность, ц/га	± к ст. ц/га	^{137}Cs		^{90}Sr	
				$A_{\text{уд}}$, Бк/кг	$K_{\text{п}}$, $10^{-3}\text{м}^2\text{кг}^{-1}$	$A_{\text{уд}}$, Бк/кг	$K_{\text{п}}$, $10^{-3}\text{м}^2\text{кг}^{-1}$
1	Быстрое (ст.)	32,6	-	25,8±7,7	0,04±0,01	6,8±1,8	0,50±0,10
2	Славянское	30,0	2,6	33,7±14,8	0,05±0,02	6,0±3,2	0,42±0,14
3	Галинка	32,6	0,0	25,9±3,5	0,04±0,01	7,2±3,3	0,50±0,07
4	Надёжное	37,0	4,4	22,6±10,6	0,04±0,02	7,6±2,1	0,56±0,16
5	Днепровское	37,1	4,5	21,6±4,5	0,03±0,01	5,7±4,0	0,37±0,12
6	Гомельское	37,8	5,2	20,2±7,7	0,03±0,01	6,3±0,8	0,48±0,11
НСР _{0,05}		2,3					

Удельная активность зерна по ^{137}Cs и ^{90}Sr изучаемых сортов проса не превышала «Республиканских допустимых уровней содержания цезия-137 и стронция-90 в сельскохозяйственном сырье и кормах», далее РДУ, и составила в среднем за 2008–2010 гг. 20,2–33,7 и 5,7–7,6 Бк/кг соответственно.

По переходу ^{137}Cs из почвы в зерно исследуемые сорта различались в 1,3–1,7 раза. Наименьший коэффициент перехода ^{137}Cs ($K_{\text{п}}$ 0,03) отмечен у сортов: Днепровское и Гомельское, наибольший ($K_{\text{п}}$ 0,05) - у сорта Славянское.

Коэффициенты перехода ^{90}Sr в зерно проса различались в 1,5 раза между сортом Днепровское с минимальным ($K_{\text{п}}$ 0,37) накоплением радионуклида и сортом Надёжное с максимальным его накоплением ($K_{\text{п}}$ 0,56).

Различия сортов по переходу ^{137}Cs в зерно проса не имеют принципиального практического значения в связи с невысокой концентрацией радионуклида в конечной продукции и вариабельностью коэффициентов перехода по годам. Зерно всех исследованных сортов проса белорусской (Днепровское, Гомельское, Галинка), российской (Быстрое) и совместной (Надёжное, Славянское) селекции можно использовать для продовольственных целей.

Для получения продовольственного зерна проса ($A_{\text{уд}}=11$ Бк/кг по ^{90}Sr) при указанном выше уровне почвенного плодородия и агротехники возделывания плотность загрязнения дерново-подзолистой супесчаной почвы ^{90}Sr должна быть не более 0,80 Ки/км² для белорусского сорта Днепровское и не более 0,53 Ки/км² для сорта Надёжное.

5. ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ УДОБРЕНИЙ ПОД ПРОСО ПРИ ВОЗДЕЛЫВАНИИ ЕГО НА ПРОДОВОЛЬСТВЕННЫЕ ЦЕЛИ

Оценка экономической эффективности исследуемых в опыте удобрений проведена в ценах 2010 года, из расчета стоимости 1 т проса 1 класса, поставляемого на продовольственные цели, 520 тысяч рублей (без НДС) (табл. 8).

Таблица 8

Экономическая эффективность удобрений под просо на зерно на дерново-подзолистой супесчаной почве (в среднем за 2009–2010 гг.)

Варианты		Урожайность / прибавка от НРК, ц/га	Стоимость прибавки, тыс. руб./га	Затраты, тыс. руб./га	Прибыль, тыс. руб./га	Рентабельность, %
Дозы азота	Вид удобрения					
N ₆₀ P ₆₀ K ₁₂₀	карбамид	33,9 / 10,0	520,0	391,8	128,2	33
N ₉₀ P ₆₀ K ₁₂₀		38,9 / 15,0	780,0	497,3	282,7	57
N ₁₂₀ P ₆₀ K ₁₂₀		40,3 / 16,4	852,8	567,6	285,2	50
N ₆₀ P ₆₀ K ₁₂₀	карбамид с гуматами	36,4 / 12,5	650,0	425,7	224,3	53
N ₉₀ P ₆₀ K ₁₂₀		41,1 / 17,2	894,4	534,7	359,7	67
N ₁₂₀ P ₆₀ K ₁₂₀		43,2 / 19,3	1003,6	618,3	385,3	62
N ₆₀ P ₆₀ K ₁₂₀	КАС-30	34,9 / 11,0	572,0	413,6	158,4	38
N ₉₀ P ₆₀ K ₁₂₀		38,2 / 14,3	743,6	510,6	233,0	46
N ₁₂₀ P ₆₀ K ₁₂₀		37,4 / 13,5	702,0	567,8	134,2	24

Применение минеральных удобрений при производстве продовольственного зерна проса на среднекультуренной дерново-подзолистой супесчаной почве сопровождается высоким экономическим эффектом. Наибольшая прибыль (359,7–385,3 тыс. руб./га, при рентабельности 67–62%) получена при внесении карбамида с гуматами в дозах N₉₀₋₁₂₀ на фоне P₆₀K₁₂₀. Менее эффективным под просо было внесение азота в форме стандартного карбамида и КАС.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Для прогноза накопления радионуклидов зерном проса на дерново-подзолистых супесчаных почвах целесообразно использовать коэффициенты перехода ($Kл$ ^{137}Cs), дифференцированные по содержанию подвижного K_2O в почве и $Kп$ ^{90}Sr , дифференцированные по степени кислотности почв pH_{KCl} .

2. При содержании подвижного калия в дерново-подзолистой супесчаной почве K_2O выше 200 мг/кг возделывание продовольственного зерна проса не ограничивается высокой плотностью загрязнения ^{137}Cs .

3. Зерно проса отличается более высоким накоплением ^{90}Sr ($Kп$ 0,28–1,20), чем ^{137}Cs ($Kп$ 0,03–0,14). Имеются жесткие ограничения в подборе пригодных участков под просо в зависимости от плотности загрязнения ^{90}Sr и степени кислотности почв для производства продовольственного зерна. При нейтрализации кислотности супесчаной почвы от pH 4,5 до 7,0 переход ^{90}Sr в зерно проса снижается втрое.

4. Установлено, что по мере улучшения агрохимических свойств почв урожайность зерна проса может повышаться до 2 раз. Для гарантии получения свыше 40 ц зерна с гектара просо следует размещать на дерново-подзолистых связно- и рыхлосупесчаных на связных породах почвах с содержанием гумуса $>1,5\%$, подвижных форм K_2O более 200 мг/кг, близкой к нейтральной реакцией (pH_{KCl} 6,0–7,0).

5. Применение сбалансированных доз минеральных удобрений позволяет получить более высокую урожайность проса и вдвое снизить накопление в зерне ^{137}Cs и ^{90}Sr . На загрязненных радионуклидами землях рекомендуется использовать карбамид с гуматсодержащими добавками вместо стандартного карбамида, что позволяет на 15–20% снизить поступление радионуклидов в зерно проса.

6. Для возделывания на зерно на загрязненных ^{137}Cs дерново-подзолистых супесчаных почвах пригодны все исследованные сорта проса в убывающем порядке: Днепровское, Гомельское, Галинка, Надежное, Славянское; на загрязненных почвах ^{90}Sr , предпочтение следует отдавать сортам Днепровское, Славянское, Гомельское.

7. Затраты на минеральные удобрения хорошо окупаются прибавкой урожайности проса с рентабельностью 33–67% при возделывании на зерно. Более экономически выгодным является применение карбамида с гуматсодержащими добавками по сравнению с другими видами азотных удобрений (карбамид, КАС) при возделывании проса на продовольственные цели.

ЛИТЕРАТУРА

1. Агрохимическая характеристика почв сельскохозяйственных земель Республики Беларусь. – Минск: Институт почвоведения и агрохимии НАН Беларуси, 2006. – 288 с.
2. Анохина, Т.А. О целесообразности использования проса в качестве страховой культуры / Т.А. Анохина // Земляробства і ахова раслін. – 2004. – № 1. – С. 6.
3. Варавва, В.Н. Особенности технологии возделывания проса в Оренбуржье / В.Н. Варавва // Зерновое хозяйство. – 2005. – № 4. – С. 17–18.
4. Ильина, З.М. Рынки сельскохозяйственного сырья и продовольствия / З.М. Ильина, И.В. Мирочицкая. – Минск: БГЭУ, 2001. – 226 с.
5. Киреенко, Н.В. Просо – культура больших возможностей / Н.В. Киреенко, Л.Ф. Курч, А.В. Ураков // Аналит. обзор / Белорусский научный институт внедрения новых форм хозяйствования в АПК. – Минск, 2002. – 52 с.
6. Мурри, И.К. Биохимия проса / И.К. Мурри // Биохимия культурных растений. – Л.: Сельхозгиз, 1958. – Т. 1. – С. 512–588.
7. Вавилов, П.П. Растениеводство / П.П. Вавилов. – М.: Агропромиздат, 1986. – С. 124–136.
8. Культурная флора СССР: т. 3 / Под рук. П.М. Жуковского. – М.: Колос, 1975. – 364 с.
9. Фирсов, И.П. Технология растениеводства / И.П. Фирсов, А.М. Соловьев, М.Ф. Трифонова. – М.: Колос, 2004. – С. 268.
10. Кормовые растения России / Г.А. Романенко [и др.]. – М., 1999. – С. 123 – 128.
11. Лысов, В.Н. Просо / В.Н. Лысов. – Л.: Колос, 1968. – 224 с.
12. Сафонова, А.В. Формирование ассимиляционного аппарата посеов проса в зависимости от сорта, способа посева и нормы высева // Проблемы сельского хозяйства и пути их решения: сб. науч. тр. – Самара, 2000. – С. 77–80
13. Елагин, И.Н. Агротехника проса / И.Н. Елагин. – М.: Россельхозиздат, 1987. – С. 51–61.
14. Справочник агрохимика / В.В. Лапа [и др.]; под ред. В.В. Лапа. – Минск: Белорус. наука, 2007. – 390 с.
15. Современные ресурсосберегающие технологии производства растениеводческой продукции в Беларуси: сб. науч. материалов, 2-е изд., доп. и перераб. / НПЦ НАН Беларуси по земледелию. – Минск: ИВЦ Минфина, 2007. – 448 с.
16. Лебедева, Т.Б. Динамика элементов питания в выщелоченном черноземе и серой лесной почве Пензенской области и влияние минеральных удобрений на урожай яровой пшеницы и проса: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук: 06.01.03 / Т.Б. Лебедева. – Воронеж, 1973. – 32 с.

17. Бондарева, К.Г. Урожай проса и расход элементов питания в зависимости от норм минеральных удобрений / К.Г. Бондарева / Эффективность применения удобрений и мелиорантов на почвах Центрально-Черноземной зоны: сб. науч. тр. / ВСХИ; под ред. Р.Д. Копцева [и др.]. – Воронеж, 1986. – С. 54–59.
18. Елагин, И.Н. Повышение урожайности и качества проса / И.Н. Елагин / Совершенствование селекции, семеноводства и технологии возделывания проса: сб. науч. тр. / Под общ. ред. А.Н. Зеленова. – Орел, 1985. – С. 4–8.
19. Корнилов, А.А. Просо / А.А. Корнилов. – 2-е изд. – М.: Сельхозгиз, 1960. – 245 с.
20. Авдонин, Н.С. Свойства почвы и урожай / Н.С. Авдонин. – М.: Колос, 1965. – 250 с.
21. Логачев, С.А. Возродить крупяную культуру / С.А. Логачев // Зерновые культуры. – 1990. – № 3. – С. 13–17.
22. Прянишников, Д.Н. Избранные сочинения / Д.Н. Прянишников. – М.: Колос, 1965. – Т. 3. – С. 201.
23. Коробков, С.Д. Применение удобрений под просо в условиях засушливой зоны. / С.Д. Коробков // Совершенствование селекции, семеноводства и технологии возделывания проса: сб. науч. тр. / Под общ. ред. А.Н. Зеленова. – Орёл, 1985. – С. 131–135.
24. Пейве, Я.В. Агрохимия и биохимия микроэлементов / Я.В. Пейве. – М.: Наука, 1980. – 295 с.
25. Система применения микроудобрений под сельскохозяйственные культуры: рекомендации / М.В. Рак [и др.]; под общ. ред. М.В. Рака; Ин-т почвоведения и агрохимии НАН Беларуси. – Минск, 2006. – 28 с.
26. Современные технологии возделывания сельскохозяйственных культур: рекомендации / К.В. Коледа [и др.]; под общ. ред. К.В. Коледы, А.А. Дудука. – Гродно: ГГАУ, 2010. – 340 с.
27. Рекомендации по ведению агропромышленного производства в условиях радиоактивного загрязнения земель Республики Беларусь / И.М. Богдевич [и др.]; под ред. И.М. Богдевича; М-во сельского хоз-ва и продовольствия РБ, Комитет по проблемам последствий катастрофы на Чернобыльской АЭС при Совете Министров РБ, Институт почвоведения и агрохимии. – Минск, 2008. – 72 с.
28. Алексахин, Р.М. Рекомендации по ведению растениеводства на радиоактивно загрязненных территориях России / Р.М. Алексахина, А.Н. Ратникова, Т.Л. Жигаревой. – М., 1997. – 115 с.
29. Бондарь, П.Ф. Влияние почвенно-климатических условий на накопление ^{90}Sr растениями из почвы и прогнозирование уровня загрязнения урожая / П.Ф. Бондарь // Агрохимия. – 1983. – № 7. – С. 69–79.
30. Дергунов, И.Д. Прогнозирование накопления ^{90}Sr в урожае сельскохозяйственных культур по физико-химическим свойствам почв / И.Д. Дергунов, В.Д. Мороз, Г.В. Рябова // Почвоведение. – 1982. – № 5. – С. 22–25.

31. Ведения сільського господарства в умовах радіоактивного забруднення території України внаслідок аварії на Чорнобильській АЕС на період 1999-2002 рр.: метод. реком. / В.О. Кашпаров [та ін.] / Мін АПК України, МНС України, УНДІСГР. – Київ, 1998. – 104 с.
32. Организационно-технологические нормативы возделывания сельскохозяйственных культур: сб. отрасл. Реглам. / Ин-т аграрной экономики НАН Беларуси; В.Г. Гусаков [и др.]. – Минск. Белорус. наука, 2005. – 460 с.
33. Интегрированные системы защиты сельскохозяйственных культур от вредителей, болезней и сорняков: рекомендации / Под общ. ред. С.В. Сороки. – Минск: Белорус. наука, 2005. – 462 с.
34. Анохина, Т.А. Влияние некоторых агротехнических приемов на урожайность зерна и зеленой массы проса сорта Быстрое в условиях Гродненской области / Т.А. Анохина, В.П. Цыбульский //Сб. науч. тр. / Ин-т земледелия и селекции НАН Беларуси. – Минск, 2004. – Вып. 40: Земледелие и селекция в Беларуси. – С. 96–101.
35. Лапа, В.В. Влияние минеральных удобрений на урожайность зерна проса при возделывании на дерново-подзолистой рыхлосупесчаной почве / В.В. Лапа, М.М. Ломонос // Весці Нац. акад. навук Беларусі. Сер. аграр. навук. – 2007. – № 2. – С. 47–51.
36. Семененко, Н.Н. Адаптивные системы применения азотных удобрений / Н.Н. Семененко. – Минск: БИТ «Хата», 2003. – 164 с.
37. Семененко, Н.Н. Прогрессивные системы применения азотных удобрений / Н.Н. Семененко. – Минск: БИТ «Хата», 2003. – 162 с.
38. Курч, Л.Ф. Продуктивность новых сортов проса белорусской селекции на разном уровне азотного питания / Л.Ф. Курч, Л.И. Шофман // Актуальные проблемы агрономии и пути их решения: материалы междунар. науч.–практ. конф., посвящ. 150-летию научной и педагогической деятельности Стебута, Горки, 16-18 января 2005 г. / Белорусская гос. с.-х. акад.; редкол. А.Р. Цыганов [и др.]. – Горки, 2005. – С. 95–98.
39. Лапа, В.В. Эффективность различных систем удобрения при возделывании проса на дерново-подзолистой рыхлосупесчаной почве / В.В. Лапа, М.М. Ломонос // Почвоведение и агрохимия. – 2007. – № 2. – С. 121–127.
40. Агеец, В.Ю. Система радиозэкологических контрмер в агрофере Беларуси / В.Ю. Агеец. – Гомель: Институт радиологии, 2001. – 250 с.
41. Таврыкина, О.М. Влияние условий минерального питания и сортовой специфичности зерновых культур на урожайность, накопление ^{137}Cs и ^{90}Sr и качество зерна на дерново-подзолистой супесчаной почве: автореф. дис. ...канд. с.-х. наук: 06.01.04 / О.М. Таврыкина; Ин-т почвоведения и агрохимии. – Минск, 2007. – 22 с.
42. Путятин, Ю.В. Минимизация поступления радионуклидов ^{137}Cs и ^{90}Sr в растениеводческую продукцию / Ю.В. Путятин. – Минск: Ин-т почвоведения и агрохимии, 2008. – 268 с.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1

Республиканские допустимые уровни содержания радионуклидов цезия-137 и стронция-90 в сельскохозяйственном сырье и кормах

Нормируемые величины. Для переработки на пищевые цели допуска-
ется прием на перерабатывающие предприятия:

Продукция	Содержание, Бк/кг	
	^{137}Cs	^{90}Sr
Молоко для переработки на:		
сливочное масло;		
цельномолочные прод., сыры,	370	18
творог	100	3,7
молоко сухое и концентрирован- ное	30	3,7
Мясо:		
говядина, баранина	500	не нормируется
свинина, птица	180	не нормируется
Растительное сырье:		
овощи	100	не нормируется
фрукты	40	не нормируется
садовые ягоды	70	не нормируется
зерно	90	11
зерно на детское питание	55	3,7
Прочее сырье	370	не нормируется

Допустимые уровни содержания цезия-137 и стронция-90 в основных видах кормов предусмотрены для получения различных видов конечной продукции:

- цельного молока (и молока сырья для переработки на сыры и творог);
- молока сырья для переработки на масло;
- мяса (говядины и свинины, заключительная стадия откорма).

Виды кормов	Содержание, Бк/кг				
	¹³⁷ Cs			⁹⁰ Sr	
	Молоко цельное*	Молоко сырье для переработки на масло	Мясо (заключительный откорм КРС)	Молоко цельное	Молоко сырье
Сено	1300	1850	1300	260	1300
Солома	330	900	700	185	900
Сенаж	500	900	500	100	500
Силос	240	600	240	50	250
Корнеплоды	160	600	300	37	185
Зерно на фураж, комбикорм	180	600	480	100	500
Зеленая масса	165	600	240	37	185
Хвойная, травяная мука, дробина пивная, жом, патока, барда, мясокостная мука	900				
Мезга, молочные продукты (обрат)	600				
Прочие виды кормов	900				

**Система мероприятий по защите проса
от болезней и сорняков [33]**

Срок проведения	Вредный организм	Условия и способы проведения защитных мероприятий	Препарат, норма расхода
После уборки предшественника	Пырей ползучий, осот полевой, бодяк полевой, полынь обыкновенная, дрема белая, виды одуванчика, подорожника и др.	Внесение гербицидов после уборки предшественника по вегетирующим сорнякам. Зяблевая вспашка проводится не ранее чем через 15 дней после применения гербицидов	Белфосат, 360 г/л в.р.; глиалка 36, 360 г/л в.р.; глифоган, 360 г/л в.р.; доминатор, ВР; раундап, 360 г/л в.р.; ураган, ВР (4-6 л/га) и др. или их баковые смеси с 2,4-Д, диаленом, удобрениями (КАС, сульфат аммония, хлористый калий)
Перед севом или заблаговременно	Головня, фузариозная корневая гниль	Протравливание семян	Беномил, 50% с.п. (2 кг/т); фенорам супер, 70% с.п. (2 кг/т); фундазол, 50% с.п. (2 кг/т)
До всходов	Однолетние сорные растения	Боронование посевов в фазе «белых нитей» сорняков	

Продолжение приложения 2

В фазе 3-го листа – кущения	Марь белая, редька дикая, пастушья сумка, ярутка полевая	Опрыскивание посевов в ранние фазы роста сорняков	2,4-Д, 500 г/л в.р. (1,2-1,6 л/га); 2М-4Х, 250 г/л в.р. (4,0-4,8 л/га); дикопур М, 50 г/л в.р. (0,5-1,0 л/га); луварам, ВР (1,2-1,6 л/га)
	Ромашка непахучая, звездчатка средняя, виды горца, марь белая, ярутка полевая, пастушья сумка	Тоже	Базагран, 480 г/л в.р. (2-4 л/га); диален, ВР (1,75-2,25 л/га)
	Подмаренник цепкий, виды пикульника, ромашки, горца, звездчатка средняя, марь белая, ярутка полевая и др.	—//—	Линтур, ВДГ (0,12-0,18 кг/га); секатор, ВДГ (0,15-0,2 кг/га)
	Осот полевой, бодяк полевой и однолетние двудольные сорняки (в т. ч. устойчивые к 2,4-Д и 2М-4Х)	Опрыскивание посевов (стадия развития малолетних сорняков – 3–4 листа, многолетних – розетка)	Лонтрел 300, 30% в.р. (0,3-0,66 л/га)

**Перечень районированных сортов проса
в Республике Беларусь (2010 г.)**

Название сорта	Год регистрации	Области районирования
Быстрое	1998	Бр, Вт, Гм, Гр, Мн, Мг
Надежное	2002	Гм, Гр, Мн, Мг
Вольное	2003	Бр, Вт, Гм, Гр, Мн, Мг
Галинка	2004	Бр, Вт, Гм, Гр, Мн, Мг
Белорусское	2005	Бр, Вт, Гм, Гр, Мн, Мг
Славянское	2006	Бр, Гм, Мн
Мирское	2007	Бр, Вт, Гм, Гр, Мн, Мг
Свіцязянскае	2008	Бр, Мн, Мг
Днепровское	2009	Бр, Вт, Гм, Гр, Мн, Мг
Гомельское	2010	Бр, Гр, Мн

Производственно-практическое издание

**Богдевич Иосиф Михайлович
Батыршаев Эдуард Муратбиевич
Ломонос Михаил Михайлович и др.**

**РЕКОМЕНДАЦИИ
ПО ВОЗДЕЛЫВАНИЮ ПРОСА
НА ПРОДОВОЛЬСТВЕННЫЕ ЦЕЛИ
НА ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫХ СУПЕСЧАНЫХ ПОЧВАХ
В УСЛОВИЯХ РАДИОАКТИВНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ**

Ответственная за выпуск Н.Ю. Жабровская

Редактор Я.Р. Мамедова

Подписано в печать 01.08.2011. Формат 60×84 1/16.

Бумага офсетная. Ризография.

Усл. печ. л. 1,86. Тираж 100 экз. Заказ 38.

Отпечатано с оригинал-макета заказчика.

Полиграфическое исполнение:

Государственное предприятие: «Институт системных исследований в АПК НАН Беларуси».

ЛП № 02330/0150416 от 04.09.2008.

Ул. Казинца, 103, 220108, Минск.